

교류자기장 차폐를 위한 자기장 상쇄장치 모델의 설계

(Design of Magnetic Field Compensation System Model for AC Magnetic Field Shielding)

최학윤*

(Hak-Yun Choi)

Abstract

In this paper, magnetic field compensation system with an open architecture and can be installed indoors is designed and measured by fabricated.

To verify the shielding effectiveness, two rectangular helmholtz coils with 3-axis are fabricated to generate magnetic field and measured magnetic field inside compensation coil for 1~60[Hz], According to measurements, AC shielding effectiveness of compensation system is 96[%] of 1[Hz], 95[%] of 30[Hz] and 90[%] of 60[Hz]. The performance of system therefore can be used as the magnetically shielded room for medical and industrial field.

Key Words : Active Shielding, Magnetic Compensation, Helmholtz Coil, Magnetic Sensor

1. 서 론

자연적으로나 인공적으로 발생하는 잡음성전자파는 발생원에 따라 그 값이 다르게 나타나지만, 전자파를 감소시키는 것을 차폐라 하며, 차폐를 통해 만들어진 독립된 공간을 전자파차폐실(RF Shield Room)이라 한다[1]. 잡음성전자파는 전기장과 자기장으로 이루어졌는데 전기장은 주변 물체에 쉽게 흡수되어 차폐방법이 용이하지만 자기장은 물질을 잘 통과하는 성질이 있기 때문에 차폐방법이 매우 어렵다고 알려져 있다. 이러한 자기잡음은 지구자기장의 변동 및 전력선

등 주변 잡음원에 의해 인공적으로 발생되며 정밀한 의료기기, 전자장비 및 산업계측기기의 성능을 저하시키거나 오동작을 일으키는 경우가 많이 발생하고 있다. 특히 심각한 영향을 주는 자기잡음의 주파수 대역은 직류 및 극 저주파수 대역인 10[Hz] 이하, 전원주파수인 60[Hz]에서 주로 발생한다고 알려져 있다[2].

현재 자기잡음을 감소시키는 방법으로는 수동차폐와 능동차폐가 있다. 수동차폐는 외벽을 두꺼운 알루미늄 패널 구조를 만들고 투자율이 높은 고가의 뮤(μ) 메탈을 2~3층으로 부착하는 밀폐형으로 설계하며 이를 자기차폐실(MSR : Magnetically Shielding Room)이라 한다[3]. 이 방법은 우수한 차폐방법으로 평가되지만, 차폐 유연성이 부족하고 수 톤 이상의 무게로 인한 제작의 어려움, 수억 원 이상의 고가여서 병원의 생체 자기장 신호 측정을 위한 심장도 및 뇌자도 측정, 자기공명영상장치(MRI) 시스템 등의 차폐에 이용되

* 주저자 : 김포대학 IT학부 부교수
Tel : 031-999-4141, Fax : 031-999-4775
E-mail : hychoi@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2011년 5월 7일
1차심사 : 2011년 5월 18일
심사완료 : 2011년 6월 14일

고 있다[4].

능동차폐는 외부에서 발생하는 자기잡음에 대하여 크기가 동일한 자기장을 역방향으로 인가하여 무자기장 공간을 형성하는 방법이다[5]. 이 방법은 밀폐형에 비하여 차폐능력이 떨어지는 단점은 있지만 개방형 구조로 제작이 간편하고 유지보수 및 설치장소 이동 등 장점이 있고 특히 수시로 변화하는 자기잡음에 대응할 수 있는 유연성이 있다.

따라서 본 논문에서는 무자기장 상쇄 공간을 효과적으로 확보하기 위해 능동형 자기장 상쇄장치를 설계하였다. 이를 위하여 각각의 크기가 1.0[m]인 역방향 자기장 발생코일을 3-축으로 제작하고, 외부 자기장 발생을 위해 상쇄 공간 외부에 3축의 크기가 각각 1.2[m]의 자기장 발생코일을 제작하였다. 코일내부의 자기장 검출을 위해서 자기센서를 설치시키고 내부 자기장을 측정하여 상쇄율을 측정하였다. 측정주파수는 1~60[Hz] 범위에서 성능평가를 하였으며 상쇄율 목표는 90[%]로 하였다.

2. 자기장 발생 장치

2.1 자기장 상쇄

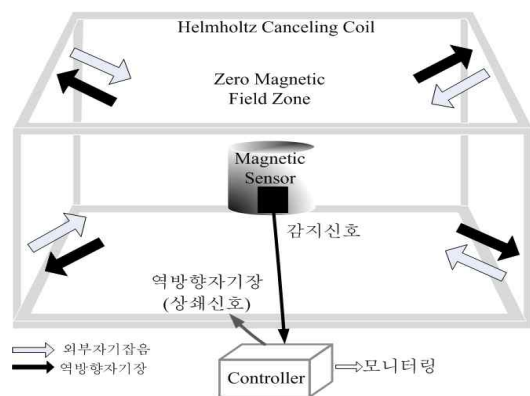


그림 1. 자기장 상쇄장치의 개념
Fig. 1. Concept of magnetic field compensation system

자기장을 차폐시키는 방법은 투자율이 좋은 자기장 차폐 재료를 밀폐형으로 설계하는 수동적방법과, 원하지 않는 외부 자기장에 대해 역방향의 자기장을 발생

시켜 자기장을 중화시키는 능동 차폐방법이 있다[5].

능동 차폐방법은 자기장이 발생하는 공간에서 3축 자기 센서가 외부 변동자계를 검출하고, 3축(x, y, z) 상쇄코일로 외부 변동자계를 제거하는 자기장을 발생시켜 무자기장 환경을 만들어 낼 수 있어, 불규칙적으로 빈번히 발생하는 외부자기장 환경 하에서 적합하다. 그림 1은 능동 차폐방법의 자기장상쇄장치의 개념을 나타낸다.

2.2 자기장 발생코일

균일하고 안정된 자기장을 발생시키는 자기장 발생 장치는 자기장 차폐에서 필수적인 요소이다. 자기장을 발생 시키는 방법은 전자석, 솔레노이드 및 영구자석, 헬름홀츠 코일(Helmholtz Coil)이 있는데, 전자석은 고자기장으로 사용되며 솔레노이드는 정밀한 자기장을 발생시킬 수 있으나, 축 방향으로만 공간을 활용할 수밖에 없는 단점이 있다. 헬름홀츠 코일은 솔레노이드에 비해 자기장 균일도는 떨어지지만 자기장 발생 공간이 넓고, 코일에 많은 열을 발생시키지 않는 장점이 있다[6].

헬름홀츠 코일은 동일한 축에 위치한 지름이 d 인 원형코일이 a 만큼 떨어져 있고, 두 코일에 흐르는 전류가 같은 방향 및 권선수가 같을 경우, $a = 0.5d$ 일 때 두 코일의 중간 지점에서 균일한 자기장을 형성한다. 코일의 형태가 직사각형인 경우에는 $a = 0.5446d$ 이다. 이 조건을 만족하는 코일을 헬름홀츠 코일이라 한다. 직사각형 코일은 원형 코일에 비하여 코일의 프레임 제작하기 쉽고, 자기장 계산이 용이하며, 중심위치의 접근이 용이하다. 특히 단일 사각형 코일은 90[°] 회전시키면서 3축 방향으로 측정하여야 하지만, 3축 사각형 코일은 고정시켜 둔 채 자기장 측정이 가능하다. 그림 2는 사각형 헬름홀츠 코일의 구조를 나타낸다.

다양한 형태의 코일에서 발생하는 자기장은 Biot-Savart 법칙, Legendre 다항식, Elliptical 함수를 사용하여 계산할 수 있다. 그림 2의 사각형 형태의 임의의 점 $P(x, y, z)$ 에서 발생하는 자기장의 크기 B_z (z 방향 성분)는 다음과 같이 나타낼 수 있다[6].

$$B_z = \frac{\mu_0 IN}{4\pi} \sum_{\alpha=1}^4 \left[\frac{(-1)^\alpha d_\alpha}{r_\alpha [r_\alpha + (-1)^{\alpha+1} C_\alpha]} - \frac{C_\alpha}{r_\alpha (r_\alpha + d_\alpha)} \right] [\mu T] \quad (1)$$

여기서 N 는 권선 수, I 는 DC 전류 A, μ_0 는 진공 중 투자율 x, y, z 는 각 좌표이다. 또한

$$C_1 = -C_4 = a + x, \quad C_2 = -C_3 = a - x$$

$$d_1 = d_2 = b + y, \quad d_3 = d_4 = y - b$$

$$r_1 = [(a+x)^2 + (b+y)^2 + z^2]^{1/2}$$

$$r_2 = [(a-x)^2 + (b+y)^2 + z^2]^{1/2}$$

$$r_3 = [(a-x)^2 + (b-y)^2 + z^2]^{1/2}$$

$$r_4 = [(a+x)^2 + (b-y)^2 + z^2]^{1/2}$$

이다.

그림 2에서 코일의 한 변이 1.2[m] ($a = b = 0.6$ [m]), 전류 1[A], 권선 수 20회일 때, 점 $P(0,0,0.6)$ 에서 발생하는 자기장의 크기를 식 (1)을 이용하여 계산하면 $8.08[\mu T]$ 이고, 0.6 [m] 떨어진 두 코일의 중심에서 발생하는 자기장은 $16.16[\mu T]$ 가 된다.

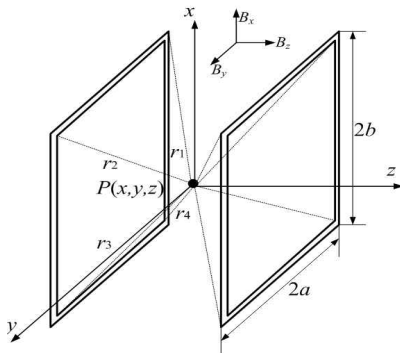


그림 2. 사각형 헬름홀츠 코일의 구조
Fig. 2. Geometry of rectangular helmholtz coil

3. 자기장 발생코일 설계

자기장 차폐를 위한 성능측정을 위해서는 측정영역 내에 균일하고 시간에 따라 변화하지 않는 안정된 자기장을 발생시키는 것이 중요하다. 헬름홀츠 코일은 그 중앙에 균일한 자기장이 분포하고 비교적 넓은 차폐공간을 제공해주는 장점이 있어 차폐 측정용으로 적합하다.

본 논문에서는 사각형 헬름홀츠 코일을 설계하여 외부에서 자기장을 발생시키고, 이 자기장을 상쇄시키기 위해 발생코일 내부에 그림 4의 검정색 내부 코일과 같은 또 하나의 역방향 자기장 발생코일을 설계하였다. 코일내부의 자기장 검출은 3축 자기저항센서(MR : Magneto-Resistance Sensor)를 코일 중심부에 설치시키고 변화되는 자기장을 측정하였다. MR센서는 Ni, Fe 등의 강자성체 금속을 주성분으로 하는 합금박막으로 구성된 Honeywell센서를 사용하였다. 이 박막의 강자성체 금속은 특정 방향의 외부 자기장도에 따라 저항치가 변하게 되는데 이러한 효과를 이용하여 자기장의 방향과 크기를 검출할 수 있다.

자기장 발생코일은 2.5[mm]의 전선을 가지고 x, y, z 축에 15, 30, 20회로 감고, 전류는 0.5[A]부터 3[A]까지 0.5[A] 간격으로 계산하고 측정하였다. 그림 3은 3축 코일에서 발생하는 자기장을 나타낸다.

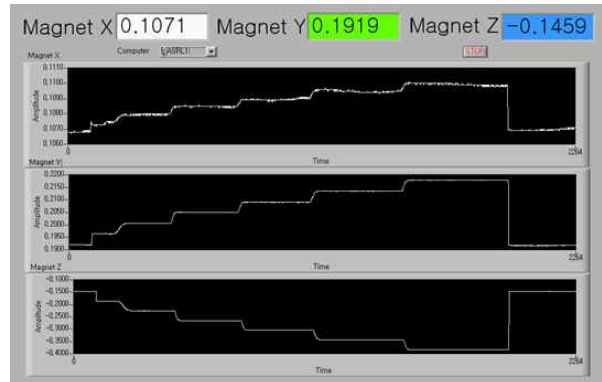


그림 3. 전류변화에 따른 3축 자기장
Fig. 3. 3-axis magnetic field for current variation

그림에서 보면 코일에 전류를 인가할 경우 각 축의 평균값은 x 축은 $10.71[\mu T]$ 이고, y 축은 $19.19[\mu T]$, z 축은 $14.59[\mu T]$ 이고 전체크기는 $26.38[\mu T]$ 가 된다. 측정값을 식 (1)을 이용한 계산값과 비교하면 x, y, z 축 각각 $10.61[\mu T]$ 이고, y 축은 $21.22[\mu T]$, z 축은 $14.15[\mu T]$ 이다. 측정값과 계산값의 오차는 x, z 축은 계산값보다 측정값이 크게 나타났으며, 반대로 y 축은 계산값이 측정값보다 $2[\mu T]$ 정도 컸다. 이는 코일 중심부에 설치한 자기센서가 코일의 정 방향과 일치되지 못하고 제작된 코일의 불균일성 때문이라 판단된다. 표 1은 코일

의 전류를 변화시킬 때 발생하는 자기장의 계산값과 측정값을 나타낸다.

역방향 자기장을 발생시키기 위한 코일은 그림 4와 같이 외부 자기장 발생코일 내부에 설계하여 제작하였다. 내부코일은 발생코일과 구분하기 위하여 검정색으로 처리하였으며, 2.5[mm]의 전선을 이용하여 40회 역 방향으로 감았다. 각 변은 1[m]로 하는 정방형으로 설계하였고, 이 공간이 자기장이 상쇄된 무자기장 공간이 된다.

표 1. 코일의 전류변화에 따른 자기장 계산값과 측정값
Table 1. Calculated and measured values for current variation of coil

전류(A)	자기장 계산치(μT)	자기장 측정치(μT)
0.5	7.89	7.37
1.0	15.78	14.99
1.5	23.68	22.73
2.0	31.57	30.38
2.5	39.46	37.84
3.0	47.34	44.98
평균	27.62	26.38

4. 자기장 상쇄율 측정

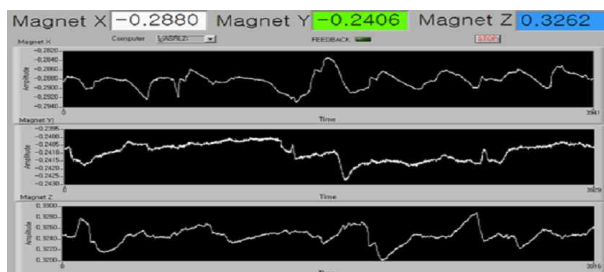
교류 자기장 상쇄장치의 성능확인을 위해 그림 4의 외부 코일에서 자기장을 발생시키고 자기센서로 차폐실 내부로 유입된 자기장의 상대적인 크기를 측정하여 차폐효과를 측정하였다. 그림 4는 2개의 자기장 발생 코일과 오실로스코프, 함수발생기, 증폭기, 직류전원공급기, 상쇄전후 비교를 위한 2개의 측정용 모니터를 보여주고 있다. 인가된 외부 자기장에 대한 역방향 자기장 신호를 공급하기 위한 컨트롤러는 (주)코암테크의 제품을 사용하였다.

측정은 그림 4와 같이 외부코일의 중심에 3축 자기센서를 설치하고 함수발생기를 통하여 정현파를 발생시키고, 전류증폭기를 이용하여 1[A_{pp}]의 전류를 외부 코일에 인가하고 자기장을 발생시켰다. 자기센서는 자체의 오프셋전압, 지구자기장의 직류성분 및 주위 잡음성 자기장도 감지하므로 저역통과필터에서 오프셋전압 및 직류성분을 500[μF]의 커패시터로 차단하

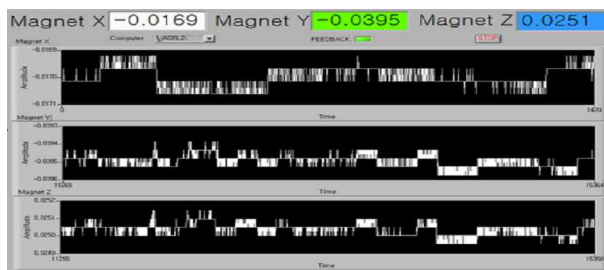
여 오실로스코프로 측정한 후 A/D카드를 통하여 노트북 컴퓨터로 측정하였다. 외부코일에서 감지된 자기장은 컨트롤러로 전달되고 동일한 크기의 역방향 신호를 내부코일로 전송하여 자기장 상쇄공간을 만들고 또 하나의 자기센서를 통하여 상쇄 후 자기장을 측정하였다.



그림 4. 교류 자기장 상쇄 측정 시스템
Fig. 4. Measuring system for AC magnetic field compensation



(a)



(b)

그림 5. 60[Hz]에서 자기장 측정치
(a) 상쇄 전, (b) 상쇄 후
Fig. 5. Measured magnetic field at 60[Hz]
(a) Before compensation,
(b) After compensation

그림 5는 60[Hz]에서 자기장 상쇄 측정값을 나타낸다. 측정결과 x 축은 28.80[μ T]의 자기장에 대해 상쇄 코일 내부의 자기장이 1.69[μ T]로 측정되어 94[%] 상쇄되었고, y 축은 84[%], z 축은 93[%] 상쇄되었다. 전체크기는 49.72[μ T]의 자기장이 4.97[μ T]로 상쇄되어 90[%]의 차폐율을 얻을 수 있었다. 여기서 비교적 차폐율이 떨어진 y 축은 코일의 제작 불균일성과 설치위치, 센서의 방향 등의 문제로 코일의 교환을 통하여 좀더 신뢰성 있는 데이터의 확보가 가능하다 판단된다. 이외에도 1[Hz]에서는 96[%], 30[Hz]에서는 95[%]의 차폐효과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 논문에서 설계한 상쇄장치는 의료 및 산업분야에 영향을 주는 60[Hz] 이하의 극저주파(ELF) 대역에서 90[%] 이상의 자기장을 상쇄할 수 있음을 보여준다.

5. 결 론

10만 배 이상의 고배율의 초정밀도의 영상을 위한 전자현미경이나 MRI 등 제한된 공간의 자기장을 차폐시키려면 반드시 차폐 공간이 필요하다. 차폐 공간 가운데 밀폐형은 투자율이 높은 뮤 메탈이나 규소강판 등 고가의 재료로 제작하며 높은 가격과 유지보수 문제로 중소병원이나 기업 연구소에서 사용하기 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 개방형 구조를 가지며 벽체 내부에 설치하여 외관상 공사 흔적을 없애고, 설치 후 다른 공간으로 재설치 할 수 있는 자기장 상쇄장치를 설계하였다.

이를 위하여 3축 크기가 1.2[m]인 자기장 발생코일과 역방향 자기장 발생을 위한 3축 상쇄코일을 1[m]의 크기로 설계하여 1[Hz]에서 60[Hz]까지의 차폐효과를 측정하였다. 측정결과 설계된 상쇄장치는 1[Hz] 대역에서 96[%], 30[Hz]에서 95[%], 전원주파수인 60[Hz]는 90[%]의 차폐율을 달성하였다. 60[Hz] 이상 180[Hz] 이하의 주파수에서는 80[%]의 차폐율을 보였다. 여기서 의료 및 산업분야의 영향을 주는 자기잡음은 전원주파수인 60[Hz] 이하의 주파수이므로 본 논문에서 설계한 상쇄장치는 90[%] 이상을 상쇄할 수 있음을 보여준다. 차폐율을 높일 수 있는 방법으로 고분해능의 자기센서를 사용하고 코일 제작공정상의 기

술적 완성도를 높이기 위한 개선작업이 필요하다고 판단된다.

향후 본 논문에서 제작한 자기장 상쇄시스템의 지지대인 목재의 재질을 향상시켜 코일의 정밀도를 향상시키고 상쇄 코일의 크기를 3~5[m] 정도 확장시킨다면 전자선 리소그래피 장비나 십만 배 이상의 고배율을 갖는 전자현미경 설치장소, 자기잡음의 근원이 되는 전력선 변압기, AVR, UPS가 설치된 산업현장과 연구소 등에 유연성 있는 자기차폐공간으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

본 논문은 2011학년도 김포대학 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] 민경찬, '전자파(EMC)환경공학'한국기술연구소, pp171-174, 2009.
- [2] 최학윤, "저주파 자기장 차폐를 위한 자기차폐실 설계.", 한국조명전기설비학회, 제 24권 6호, pp. 154-159, 2010. 6.
- [3] 이수열외 3인, "연구자석 MRI를 위한 능동형 자기 잡음 차폐시스템 기술 개발.", 전자공학회, 제 40권 3호, pp. 89-96, 2003. 5.
- [4] 이용호외 6인, "생체자기계측을 위한 자기차폐실의 설치 및 특성.", 한국자기학회, 제6권 4호, pp.264-271, 1996.8.
- [5] 우병철외 4인, "양성자 자기회전비율 측정을 위한 지지장 상쇄장치 제작.", 한국자기학회 제 2권 2호, pp. 156-162, 1992. 6.
- [6] 박포규외 5인, "브라운관의 자기장 영향 분석용 저자기장 제어 장치의 설계 및 제작.", 한국자기학회, 제 13권 6호, pp.251-255, Dec, 2003.

◇ 저자소개 ◇



최학윤(崔學潤)

1963년 4월 21일생. 1985년 숭실대학교 전자공학과 졸업. 1987년 숭실대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1999년 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1996년~현재 김포대학 IT 학부 부교수.